Demostración Matemática y conceptual de la consistencia de la **Teoría del Vacío Cuántico Auto-Excitado (TVCE)** con la Relatividad General y la Mecánica Cuántica.

Carlos David Bianco Moreno

C.I.: 17.570.016

carlosdavid1985@hotmail.es

Venezuela 19/11/2025

Demostración Matemática y conceptual de la consistencia de la **Teoría del Vacío Cuántico Auto-Excitado (TVCE)** con la Relatividad General y la Mecánica Cuántica.

Consistencia con la Relatividad General

La Relatividad General (RG) no prescribe qué tipo de energía existe, solo dicta cómo *cualquier* forma de energía curva el espacio-tiempo. La TVCE encaja perfectamente en este marco al simplemente añadir un nuevo componente al lado derecho de la ecuación de Einstein.

La Ecuación de Campo de Einstein Modificada

La ecuación fundamental de la RG es:

$$G_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4) T_{\mu\nu}$$

En la TVCE, el tensor de energía-momento total $T_{\mu\nu}$ es la suma de todas las contribuciones:

$$T_{\mu\nu_total} = T_{\mu\nu_materia} + T_{\mu\nu_radiación} + T_{\mu\nu_\psi}$$

Donde $T_{\mu\nu_\psi}$ es el tensor de energía-momento del Campo de Inflación Persistente. La ecuación de Einstein no cambia, pero su contenido sí. La constante cosmológica Λ del modelo ΛCDM se reemplaza por el campo dinámico ψ.

El Tensor de Energía-Momento del Campo ψ

Para un campo escalar, el tensor de energía-momento se deriva de su Lagrangiano (L_ψ) de forma estándar:

$$T_{\mu\nu}(\psi) = \partial_\mu\psi \, \partial_\nu\psi - g_{\mu\nu} \left[(1/2)\partial_\alpha\psi \, \partial^\alpha\psi - V(\psi, a) \right]$$

Este tensor describe perfectamente la densidad de energía ($\rho_\psi = T^{oo}$) y la presión (p_ψ) del campo ψ para cualquier observador.

Las Ecuaciones de Friedmann Derivadas de la TVCE

Para un universo homogéneo e isotrópico (métrica FLRW), la ecuación de Einstein se reduce a las ecuaciones de Friedmann. La TVCE predice:

Primera Ecuación de Friedmann (para la tasa de expansión H):

$$H^2 = (8\pi G/3) (\rho_m + \rho_\gamma + \rho_\psi) - kc^2/a^2$$

Segunda Ecuación de Friedmann (para la aceleración ä):

$$\ddot{a}/a = -(4\pi G/3) (\rho_m + \rho_\gamma + \rho_\psi + 3p_m/c^2 + 3p_\gamma/c^2 + 3p_\psi/c^2)$$

Aquí, **ρ_ψ** y **p_ψ** no son constantes. Evolucionan con el tiempo según la dinámica del campo **ψ**.

La Dinámica y la "Creación" de Energía

La evolución de **ρ_ψ** viene dada por la ecuación de Klein-Gordon, que se deriva del Lagrangiano **L_ψ**:

$$d^2\psi/dt^2 + 3H\, d\psi/dt + \partial V(\psi, a)/\partial\psi = 0$$

La "creación" de energía oscura no viola la RG porque la ley de conservación en RG es para el tensor total:

$$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{total} = 0$$

Esto se descompone en:

$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{materia} = 0$ (materia se conserva) **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{radiación} = 0$** (radiación se diluye) **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{\psi} \neq 0$** (energía de **$\psi$** no se conserva)

La energía del campo **ψ** aumenta porque su potencial **$V(\psi, a)$** explícitamente depende del tiempo a través del factor de escala **$a(t)$**. En el formalismo de la RG, esta energía no sale de la nada; se extrae del trabajo realizado por el campo gravitatorio durante la expansión. El balance energético global (materia + radiación + campo ψ + energía gravitacional) se mantiene.

Conclusión de RG: La TVCE es matemáticamente idéntica a la RG, pero con un contenido de materia/energía extendido. No contradice la RG; la utiliza para predecir nuevas dinámicas cosmológicas.

Consistencia con la Mecánica Cuántica y la Teoría de Campos

La TVCE está fundamentalmente construida sobre el lenguaje de la Teoría Cuántica de Campos (QFT), lo que la hace naturalmente compatible. El punto clave es tratarla como una **Teoría Efectiva de Campos**.

El Campo ψ como Campo Cuántico Escalar

En QFT, las partículas son cuantos de un campo. El campo **ψ** es un **campo escalar**, exactamente el mismo tipo de campo que describe el bosón de Higgs. No hay nada matemáticamente exótico en ello. Sus cuantos serían partículas (llamémoslas "inflaton-persistons") de masa **m_ψ**.

El Lagrangiano y el Principio de Acción

La dinámica de la TVCE se deriva del principio de mínima acción **δS=0**, donde la acción es **S = ∫ L_total d^4x**. Este es el fundamento de toda la física moderna, tanto clásica como cuántica. El Lagrangiano que propusimos:

$$L_{total} = L_{EH} + L_{SM} + L_{\psi}$$

es perfectamente válido. **L_EH** describe la gravedad clásica, **L_SM** describe todas las partículas conocidas, y **L_ψ** añade el nuevo campo.

El Desafío: La Dependencia Explícita en a(t)

El único aspecto no estándar del Lagrangiano es que el potencial **V(ψ, a)** depende del factor de escala cosmológico **a(t)**, que es una variable clásica y no un campo cuántico. ¿Es esto un problema?

No, si se interpreta correctamente como una Teoría Efectiva.

¿Qué es una Teoría Efectiva? Es una teoría que describe la física a una cierta escala de energía o longitud, sin necesidad de conocer la física fundamental a escalas más altas. No es una teoría "completa" o "final", sino una aproximación increíblemente precisa en su dominio de validez.

Justificación: La TVCE es una teoría efectiva para escalas cosmológicas (muy bajas energías en comparación con la escala de Planck). A estas escalas, es perfectamente legítimo que los parámetros de un campo efectivo (como la forma de un potencial) dependan de las condiciones de fondo del universo, como **a(t)**. Esta dependencia codifica los efectos promediados de la física a escalas más altas (como la gravedad cuántica fundamental) que no conocemos.

Pensemos en un análogo: la viscosidad de un fluido. En una descripción fundamental, no es un parámetro; surge de las interacciones complejas entre moléculas. Pero en la descripción efectiva de la hidrodinámica, tratamos la viscosidad como un parámetro que puede depender de la temperatura o la presión. De manera similar, **V(ψ, a)** es una descripción efectiva de cómo la física fundamental (desconocida) hace que el potencial del vacío cambie con la escala.

Estabilidad y Renormalizabilidad

- **Estabilidad del Vacío:** El potencial **$V(\psi, a) = (1/2)m_\psi^2c^2[\psi - \psi_{min}(a)]^2$** es un pozo de potencial armónico. Para cualquier valor fijo de **a**, es estable y tiene un mínimo bien definido. El hecho de que el mínimo se "desplace" no introduce inestabilidades.
- **Renormalizabilidad:** El potencial es polinómico en **ψ** (hasta **ψ^2**). Los términos de interacción de este tipo en QFT son bien comportados (renormalizables). La dependencia en **a** se trata como un parámetro externo en el cálculo de bucles cuánticos, por lo que no introduce nuevas divergencias incontrolables. La teoría es, como mínimo, una teoría efectiva renormalizable.

Aspecto	Modelo Estándar (ΛCDM	Teoría del Vacío Cuántico Auto-Excitado (TVCE)	¿Es consistente?
Relatividad General	**$T_{\mu\nu}$** incluye materia, radiación y una constante **Λ**.	**$T_{\mu\nu}$** incluye materia, radiación y un campo dinámico **ψ**.	**Sí.** Usa la ecuación de Einstein, solo que con un contenido energético extendido.
Conservación de Energía	**$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{materia} = 0$**, **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{radiación} = 0$**, **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{\Lambda} = 0$**.	**$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{materia} = 0$**, **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{radiación} = 0$**, **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{\psi} \neq 0$**.	**Sí.** La conservación se aplica al total, no a los componentes individuales. La energía de **ψ** se extrae del trabajo gravitacional.
Mecánica Cuántica	La energía oscura (**Λ**) no tiene un campo cuántico asociado.	La energía oscura es el estado fundamental de un campo cuántico escalar (**ψ**).	**Sí.** Es un campo escalar estándar en el marco de la Teoría de Campos.
Teoría de Campos	El Lagrangiano es el del Modelo Estándar + RG + **Λ**.	El Lagrangiano es el del Modelo Estándar + RG + **L_ψ**.	**Sí.** El Lagrangiano es una extensión matemáticamente válida del Lagrangiano estándar.
Dependencia en a(t)	No hay dependencia explícita en **a(t)** en los potenciales.	El potencial **$V(\psi, a)$** depende explícitamente de **a(t)**.	**Sí.** Se justifica como una característica de una **Teoría Efectiva de Campos** para escalas cosmológicas.

Conclusión Final

La **Teoría del Vacío Cuántico Auto-Excitado (TVCE)** no es una fantasía matemática. Es un marco teórico **plausible y consistente** que:

1. **Respeta** la estructura matemática de la Relatividad General.
2. **Se construye** sobre los cimientos de la Teoría Cuántica de Campos.
3. **Resuelve** la aparente contradicción de la "creación" de energía mediante el marco bien establecido de las Teorías Efectivas.

La TVCE no reemplaza a la RG o a la QFT; las **extiende** de una manera específica y falsable para abordar el problema de la energía oscura y el destino del universo.